

(第13回) 2017年度・研究助成報告

研究題名	食用パルプ粉体を用いた糖尿病患者向けインスタント麺の試作とその品質評価に関する研究 <i>Study on the Trial Products of Instant Noodle for Diabetics using an Edible Pulp Powder and its Quality Evaluation</i>
研究期間	2017年4月1日～2019年3月31日
研究機関・所属 研究者名	高知大学・教育研究部自然科学系農学部門 河野俊夫

1. 2017(2018)年度研究成果の概要

食用にパルプから抽出される、セルロースを主成分とする粉体(食用パルプ抽出粉体)のもつ難消化性を活用したインスタント麺を試作し、その品質を物理手法と官能手法により評価した。麺の主材料である小麦粉の一部を食用パルプ抽出粉体で置換して試作する麺で、予備試験の結果として食感上、違和感を生じない40%以下の置換率のものについて検討した。食用パルプ抽出粉体は多孔質で含水率も低いことから、主材料の小麦粉と合わせて水分を付与すれば、両者の中で水分の奪い合いが生じて混捏性に影響があることから、まず食用パルプ抽出粉体の水分親和性(水分浸透速度)や吸水特性について物理計測を行って、供試した粒状性(粒径と表面性状)の異なる3種の食用パルプ抽出粉体それぞれの特性を明らかにした。また、インスタント麺の製造プロセスでは加熱・乾燥操作があることから、DSC(示差走査熱量計)を用いて熱特性を、DTG(示差熱・熱重量同時測定装置)を用いて乾燥特性を明らかにした。さらに、食用パルプ抽出粉体で小麦粉の一部を置換して試作した乾麺(インスタント麺)の茹で上げ品質を評価するため、引張試験、剪断試験、押圧試験および官能評価試験を行った。その結果、小麦粉をベースとした、通常のインスタント麺と比較して同じ程度の食感を得るためには、食用パルプ抽出粉体の粒径は細かいものを使用し、その置換率も、可能であれば20%までとすることが望ましいことが明らかとなった。

2. 助成期間内での研究成果の概要

1. はじめに

阪神淡路大震災や東日本大震災など、我が国は近年、自然災害が多発しており、非常時の食の確保は益々重要になっている。災害時の非常食とえば、長期保存性と消化吸収性が重要視される。健常者用の非常食であれば、長期保存性があり、消化性の良い高カロリーな保存食を用意すればよい。しかし糖尿病患者の場合は、非常時に常備薬を失ったり、医療機関への移動が困難になる場合があり、健常者向けの非常食では、消化性よく高カロリーなため、血糖抑制が効かずたいへん危険である。非常食にも血糖上昇を抑制した保存食の提供が求められる所以である。デキストリンは難消化性のある食用物質として近年、各種食品で利用されているが、

パンや製麺へ応用するには多量に用いることができず、食後の満足感はあまりないうえ、劇的な低カロリー化は望めない。そこで本研究では、パルプから抽出した難消化性の食用粉体(セルロース)(以下、「食用パルプ抽出粉体」と略称)を用いて、その麺素材としての基本特性を測定するとともに、これを用いて糖尿病患者向けの非常食(インスタント麺)を試作して、その食感品質を評価した。

2. 供試材料および方法

供試材料のうち、食用パルプ抽出粉体には粒状性(表面性状および粒径)の異なる3種を用意した。その製法については技術上、現段階では公表しないため、ここでは粒状性(粒径)の大小の順にA、B、Cと表記する。

(1) 食用パルプ抽出粉体の熱・水分特性の測定

(A)食用パルプ抽出粉体の水分親和性 インスタント麺の素材として食用パルプ抽出粉体を利用する場合、麺の主要素材である小麦粉と水分の奪い合いになり、混捏の段階でよく混ざり合わなくなることがある。そこでまず、食用パルプ抽出粉体の水分親和性の指標としての浸透速度を測定した。すなわち、一定容量の食用パルプを円筒状の筒(直径0.6cm、長さ9cm)に入れ、片側から食用色素(緑色)で呈色した水を0.8mL付加し、呈色水の浸透速度を計測するものである。呈色水を付加後、10秒ごとに1分間、その後2分、4分、6分、8分、10分経過時の水の浸透距離(呈色水付加点から呈色水が各時間までに浸透して到達したまでの距離)を測定し、所要時間で除することで浸透速度を算出した。

(B)食用パルプ抽出粉体の吸水特性 食用パルプ抽出粉体の吸水力を知る指標として吸水特性(吸水率)を、遠心分離を利用して測定した。すなわち、食用パルプ抽出粉体0.1gを遠沈管(15mL容積)にとって、これに蒸留水5mLを加え、振とう機で1分間攪拌して室温で一定時間(5分、10分、20分、30分)吸水させたサンプルに対して遠心分離操作(3,000rpm、30分間)を行い、上澄み水を取り除いた吸水後のサンプル質量より実質的な吸水質量を求めるものである。

(C)DSCおよびDTGによる熱特性および乾燥特性の測定 食用パルプ抽出粉体をインスタント麺の素材として用いる場合には熱加工や乾燥操作が行われる。このため、これら加工操作に関わる特性として比熱特性および乾燥特性を、それぞれ示差走査熱量計(DSC)(島津製作所、DSC60 Plus)および示差熱・熱重量同時測定装置(DTG)(島津製作所、DTG-60)を用いて測定した。DSCを用いた測定は、測定対象量が5mg、加熱条件は室温(24℃平均)、昇温速度5℃/min.、最終ホールド温度120℃とし、雰囲気はN₂ガスによるパージで流量50mL/min.を流した。基準は α アルミナ粉末(島津製作所)10mgである。また、DTGを用いた測定は、測定対象量が3mg、加熱条件はDSCと同じとし、質量基準となる α アルミナ量は、有機物質測定時の基準に従い、測定対象量の2倍の6mgとした。

(2) 食用パルプ粉体入りインスタント麺の試作とその品質評価

基礎材料として、食塩1.0g、冷水10g、重曹1.0g、温水30g、小麦粉(100gを基準として食用パルプ抽出粉体の置換割合に応じて減量)を用い、これに食用パルプ抽出粉体を加えてサン

プル麺を試作した。食用パルプ抽出粉体を入れない、小麦粉と基礎材料で製造する麺(基準麺)では100gの小麦粉を使用するが、このほかに、小麦粉質量の20%、40%、50%、60%を食用パルプ抽出粉体で置換したサンプル麺を試作した。なお、40%以上の置換率では小麦粉に含まれる、材料を包括するグルテン量が少なくなるため、素材の密着性を向上させる目的で卵黄を10g、20g、30g 加えた麺も実験に供した。

材料をヌードルメーカー(フィリップス・ジャパン社)に投入して混合・混捏(5分)して生麺を得たあと、50℃、1時間、常圧乾燥させて乾麺(インスタント麺)とした。さらに、6分間、沸騰水で茹で上げ、品質評価用の茹麺とした。

試作した食用パルプ抽出粉体入りのサンプル麺3種(生麺、乾麺、茹麺)の品質評価では、(D)引張試験、(E)剪断試験、(F)押圧試験、(G)色調測定、(H)表面観察、(I)食味官能試験を実施した。(D)と(E)の物性測定では、試作乾麺(インスタント麺)の茹麺を対象として、フォーステスター(エー・アンド・デー社、MCT-1150)、(F)の物性測定は小型卓上試験機(島津製作所、EZ-Test)を用いて行った。(D)では平行締付型ジョウ(エー・アンド・デー社、JM-JFM-500N)、(E)では山形圧子(エー・アンド・デー社、JM-X006-500N)、(F)では装置附属の直径8mmの円形断面の圧子を装着して試験した。試験条件は、(D)では麺5cmを10mm/min.の速度で引張試験、(E)と(F)では50mm/min.の速度で圧縮・押圧(荷重限界15N)試験した。(G)の色調測定は乾麺および茹麺を対象としたもので、乾麺については1.5gを乳鉢ですり潰し、分光測定用のディスクポーザブル・セルに入れた上で、その表色を色差計(ミノルタ社、Color Reader、CR-13)でL^{*}-a^{*}-b^{*}表色系モードで測定した。同様に、茹麺についても3gをサンプルとしてセルに入れて表色を評価測定した。なお、その色差の基準は、色差計附属の白板である。(H)の表色観察は、実体顕微鏡(ニコン社、SMZ745T)を用いて、対物レンズ2倍で観察し、顕微鏡用デジタルUSBカメラ(WAYMAR社、NF-1000)で表面状態を記録した。(I)の食味官能試験では、予備試験で成績の良かった食用パルプ抽出粉体Bを40%小麦粉と置換した麺、同じく粉体Cを20%と40%置換した麺、および40%置換したうえでつなぎとして卵黄を10g入れた麺、対象区としての基準麺(食用パルプ抽出粉体なし、小麦粉ベース)を比較評価した。評価項目は、香り、色、外観、硬さ、味、なめらかさ(舌触り)の6項目で、-2(悪い)~+2(良い)の五段階評価とした。評価パネルは21名(平均年齢23.6歳)とした。

香りの客観評価の参考とするため、SPME(固相マイクロ抽出)法によって吸着させた茹麺の香り成分の評価を、臭い嗅ぎ付きガスクロマトグラフ(GC-O)によって行った。茹麺10gを20cm×20cmの食品保存用ビニール袋に入れ、袋の側面に取り付けたGC用セプタム(島津製作所)にSPME(Sigma-Aldrich)を挿入したまま30分間香りを吸着させたのち、分析カラム(Agilent社、DB-WAX 内径0.25mm×長さ60m)を取り付けたGC-O(GC部:島津製作所、GC-2014 Olfactory部:GLサイエンス、Olfactory Port OP275)を用いて、ヒトの鼻による香り分析を試みた。GCによる分析条件は、初期40℃、昇温速度4℃/min.、到達温度250℃、スプリットレスモード、Olfactory部とGCとのスプリット比は1:1とした。

3. 結果および考察

(1) 食用パルプ抽出粉体の熱・水分特性の測定

(A)食用パルプ抽出粉体の水分親和性

図1は、用いた食用パルプ抽出粉体3種(A, B, C)、および参考として測定した小麦粉(以下、「参考穀物粉体」と表記)の水分浸透速度を比較したものである。食用パルプ抽出粉体の水分は、水分計(島津製作所、MOC63u)を用いて1g-105℃-3時間常圧定温乾燥によ

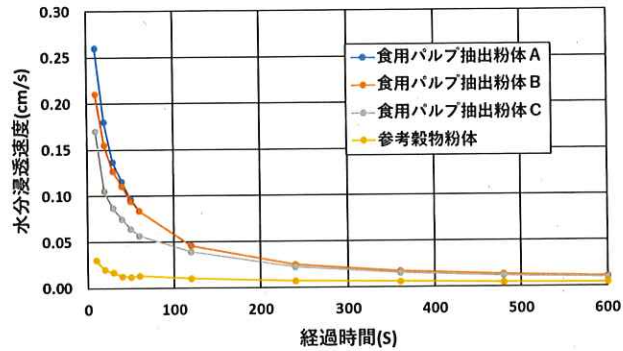


図1 食用パルプ抽出粉体の水分浸透特性

って計測した結果では、Aが8.21%(d.b.)、Bが6.82%、Cが7.18%で、参考として用いた穀物粉体の含水率14.67%に比較すると、半分程度で、水分親和性が高いことは明らかであるが、図1を見てもそれが確認できる。粉体の含水率が同じではないが、粒径が大きい食用パルプ抽出粉体Aの方が、それよりも粒径の小さなBやCに比較して、水分に接した直後の水分浸透速度が高い結果を得ている。粒径が小さい方が比表面積は大きく、粒子そのものへの吸収性が同じなら、粒径の小さなCの水分浸透速度が他の粉体よりも速くなるはずだが、全体としての水分浸透速度はその逆の傾向を示したことから、この試験の結果は、粒子そのものの吸収性よりも、粒子間隙での水分移動速度が反映したものと考える。

(B)食用パルプ抽出粉体の吸水特性

水分親和性の試験では、食用パルプ抽出粉体そのものの吸水性と、粒子間隙での水分移動とが足し合わされた状態での評価となっており、粉体単体の吸水性が明らかでない。このため、別途行った食用パルプ抽出粉体単体での吸水特性を測定した結果が図2である。ここで言う吸水率とは、食用パルプ抽出粉体1g当

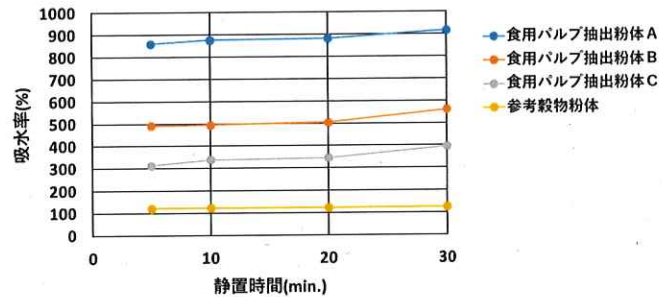


図2 食用パルプ抽出粉体の吸水特性

りに吸水する水の質量比%である。食用パルプ抽出粉体Aの粒径は、BやCの粉体に比較して大きく、事前に行った見かけ比重の測定結果では、食用パルプ抽出粉体Aが0.15g/cm³、Bが0.30g/cm³、Cが0.40g/cm³オーダーであった。図2によれば、粒径の大きい食用パルプ抽出粉体Aの吸水率は、それよりも粒径の小さな粉体Bの約1.78倍、さらに粒径が小さな粉体Cの約2.67倍となっており、作成した食用パルプ抽出粉体の表面性状の違いが吸水率に大きく影響しているものと推定する。今回は、その表面性状の電子顕微鏡による比較検討は行っていないため、その確認は今後の課題となる。参考穀物粉体の吸水率が121~125%程度と低いのに対して、食用パルプ抽出粉体はその7.18倍(A)、4.05倍(B)、3.24倍の吸水率である。した

がって、ここで供試した食用パルプ抽出粉体と、小麦粉などを水と合わせて混捏すれば、食用パルプ抽出粉体の方に優先的に水を吸収されるため、いわゆる「ダマ」になり易いと考えられる。あらかじめ食用パルプ抽出粉体に一定の水分を先に吸収させておいてから小麦粉を合わせ、追加の水分とともに混捏する必要があるものとする。

(C)DSC および DTG による熱特性および乾燥特性の測定

食用パルプ抽出粉体を入れた麺を製造する際には、粉体の熱特性として比熱や乾燥特性が必要となる。図3はそのうち、DSC(示差走査熱量計)を用いて熱特性を測定して算出した、30℃から120℃までの各食用パルプ抽出粉体および参考穀物粉体の比熱(J/g/K)を示したものである。参考とした穀物粉体に比較して食用パルプ抽出粉体の比熱は小さく、参考穀物粉体の比熱との比で、粉体A(粒径:大)が0.80(30℃)~0.78(120℃)、粉体B(粒径:中)が0.89(30℃)~0.86(120℃)、粉体C(粒径:小)が0.90(30℃)~0.86(120℃)となっており、インスタント麺の素材として穀物粉体(小麦粉)と併用した場合、茹で上げた

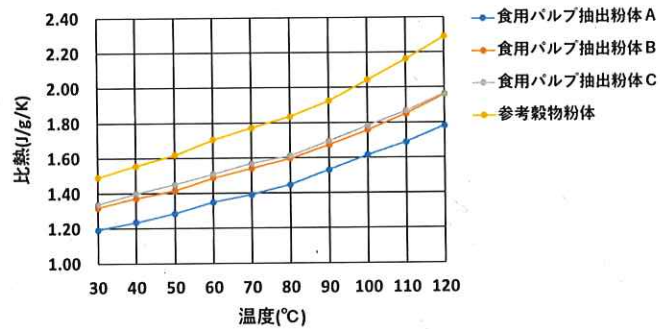


図3 食用パルプ抽出粉体の比熱

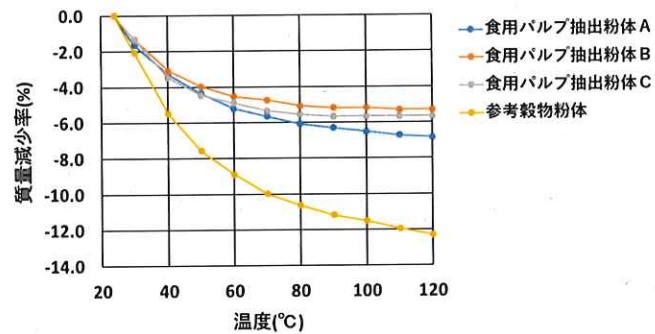


図4 食用パルプ抽出粉体の乾燥特性

際に、食用パルプ抽出粉体の部分のみ温度上昇しやすい麺構造になる可能性がある。

図4は、食用パルプ抽出粉体を用いて試作した麺(生麺)を、DTG(示差熱・熱重量同時測定装置)を用いて、室温(24℃平均)から昇温速度5℃/min.で120℃まで、直線的に温度上昇させながら測定した食用パルプ抽出粉体単体での乾燥特性(質量減少率)である。ここで言う質量減少率とは、乾燥後の各温度到達時の質量から初期質量を引いた値を初期質量で除した比(%)である。すなわち、その温度到達時までに乾燥によって失われた水分質量の初期質量に対する比である。食用パルプ抽出粉体単体の含水率は前記のとおり、Aが8.21%(d.b.)、Bが6.82%、Cが7.18%であり、参考穀物粉体の14.67%とは大きな差があり、かつ、この測定では乾燥温度をプログラマブルに変動させているため、食用パルプ抽出粉体と穀物粉体との乾燥速度の単純比較はできないが、少なくとも今回使用した食用パルプ抽出粉体の粒状性の違いによる乾燥特性の違いはほとんどないと言える。

(2) 食用パルプ粉体入りインスタント麺の試作とその品質評価

(D)引張・(E)剪断・(F)押圧試験結果 3つの試験ともに、荷重の時間変化をとると、初期立ち上がりは直線となる。このため引張試験と剪断試験では、麺が破断・断裂するまでの直線部の傾きを最小二乗法で求め、

それぞれを食用パルプ抽出粉体入りインスタント麺を茹で上げた麺の引張強度(N/s)、剪断時の硬さ指標(N/s)とした。押圧試験では、麺を測定テーブルに横置きにした状態で、その直径方向から圧子(円形プランジャー)を押し、圧力がかかる

前の直径から、圧縮率が80%、すなわち初期直径が20%になるまでに圧縮した時点までの直線部データに最小自乗法を適用して、その傾きを茹麺の押圧時の硬さ指標(N/s)とした。引張・剪断・押圧試験結果のうち、図5に試作した食用パルプ抽出粉体入り(40%配合分まで)インスタント麺を茹でた麺の引張試験結果を示す。すべての試験区についてのDunett法による基準麺との比較統計(統計ソフト:社会情報サービス社、エクセル統計 for Windows)の結果、食用パルプ抽出粉体Cは50%まで、粉体Bは40%までは有意差が認められず、逆に言えば、食用パルプ抽出粉体を入れない、小麦粉を主材料とする基準麺と同じ程度の引張強さ、すなわち麺としての伸びの良さを示した。一方、粒径の大きな食用パルプ抽出粉体Aについては、より粒径の小さな粉体BやCに比較して引張強さが大きく、粉体の置換率が最小なる20%の場合であっても、基準麺との間に有意差が認められ、伸びの点で硬い麺となることが明らかとなった。食用パルプ抽出粉体を40%以上小麦粉と置換した場合は、小麦粉よりも食用パルプ抽出粉体の方に優先的に水分が吸収されるため、製麺の際に卵黄をつなぎとして入れた麺も試験区として準備したが、結果として基準麺との引張強さの差が非常に大きくなった。卵黄を副素材として入れることで、麺の光沢や色調にプラスの影響があるのは確かであるが、食感の点では製法に工夫が必要である。

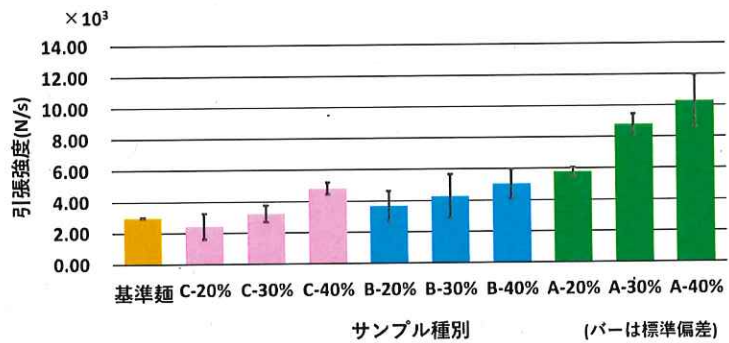


図5 試作インスタント麺の茹麺の引張試験結果

図6は、食用パルプ抽出粉体入り麺の茹麺の剪断試験結果(粉体配合別)である。Dunett法による基準麺との比較統計(図中**は1%、*は5%の有意水準)では、粒径の最も小さい粉体Cの20%と30%の置換率、および粉体Bの20%置換率でのインスタント麺の茹で麺について有意差が認められず、基準麺と同程度の硬さとなることが分か

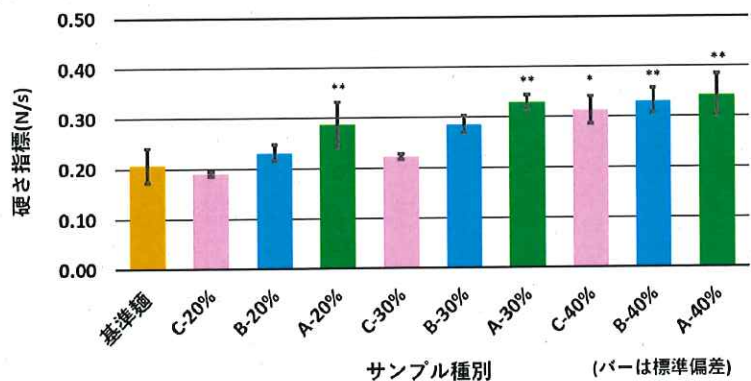


図6 食用パルプ抽出粉体の剪断試験結果(粉体置換率別)

った。剪断試験で用いた圧子(プランジャー)は山形のため、前歯で噛む際の歯切れの容易さを知る指標となる。引張試験に比べて歯切れは相対的にスムーズであることが推定できる。

押圧試験の結果は、同様に Dunett 法により基準麺と統計比較すると、食用パルプ抽出粉体BとCの置換率 40%までのインスタント麺を茹でた麺が、基準麺との間で有意差がなく、同程度の硬さであった。押圧試験では直径 8mm の円形プランジャーを用いており、ヒトの奥歯で麺を押した際の噛みやすさに相当する指標となる。この点でも、粒径の小さな食用パルプ抽出粉体BとCの置換率を 40%に抑えた麺が噛みやすいことが分かる。

(G)色調測定結果 表1は、食用パルプ抽出粉体入り麺の茹で上がり時の色差を、色差計付属の標準白板を基準にL*a*b*表色系で測定したあと、基準麺(食用パルプ抽出粉体未使用、小麦粉を主素材とした麺)の表色を基準値として色差を再計算した結果である。一般的に ΔE と表示される色差において、3.0 から 6.0 の差があれば色の変化が消費者に「目立って」感じられ、6.0~12.0 では色の差が「非常に大きい」と感じられるレベルとなる。食用パルプ抽出粉体で置換すると白色度が高くなるし、つなぎとして卵黄を入れれば色差のうち黄色味を示す b*値が有意に高くなる。今回試作した食用パルプ抽出粉体入りのインスタント麺も、つなぎを入れない麺(Y 記号なし)では、基準麺に対し

表1 食用パルプ抽出粉体入り麺の茹で上がり時の色差

試料種別	色差*
A-20%	5.6
A-40%	10.5
A-40%+Y20g**	11.3
A-50%+Y20g	12.6
B-20%	6.8
B-40%	11.5
B-40%+Y20g	12.4
B-50%	14.2
B-50%+Y20g	14.1
C-20%	6.4
C-40%	12.6
C-40%+Y20g	12.2
C-50%	14.6
C-50%+Y20g	13.9

* 基準白板で測定したL*,a*,c*値をもとに、基準麺との間で色差を再計算したもの。

** Y20gは卵黄20g使用を示す。

て5.6~12.6の色差を生じており、消費者の視点からすると、白色度の高い麺と感じられることが推定される。

(H)表面観察結果 図7は、食用パルプ抽出粉体入り麺を6分間茹で上げた麺と、同じ条件で茹でた基準麺のうち代表的なもの(粉体AとCのそれぞれ20%および40%置換麺)の表面を、実体顕微鏡を用いて撮影、比較したものである。基準麺の茹で上げたものは、光沢のある、みずみずしい表面であるのに対して、食用パルプ抽出粉体による小麦粉の置換率が上昇していくと、次第に光沢がなくなり、硬く細まった膨張性の乏しい麺質になってくる。しかし、照明の関係で画像でははっきりと写すことができていないが、目視で確認したところ、どの食用パルプ抽出粉体であっても、20%置換までであれば茹で上げ後の表面状態は、小麦粉をベースとした基準麺とほぼ同じ程度の光沢を示していた。したがって、食用パルプ抽出粉体を20%程度までの置換率とする方が、茹で上げ麺の艶を維持して、消費者にも受け入れられ易いと考えられる。

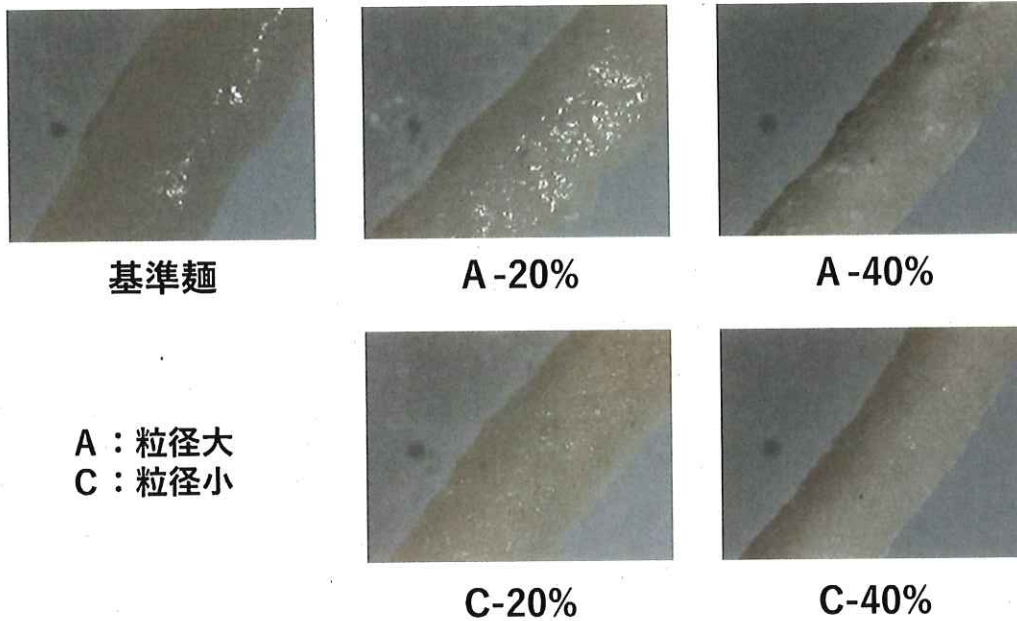
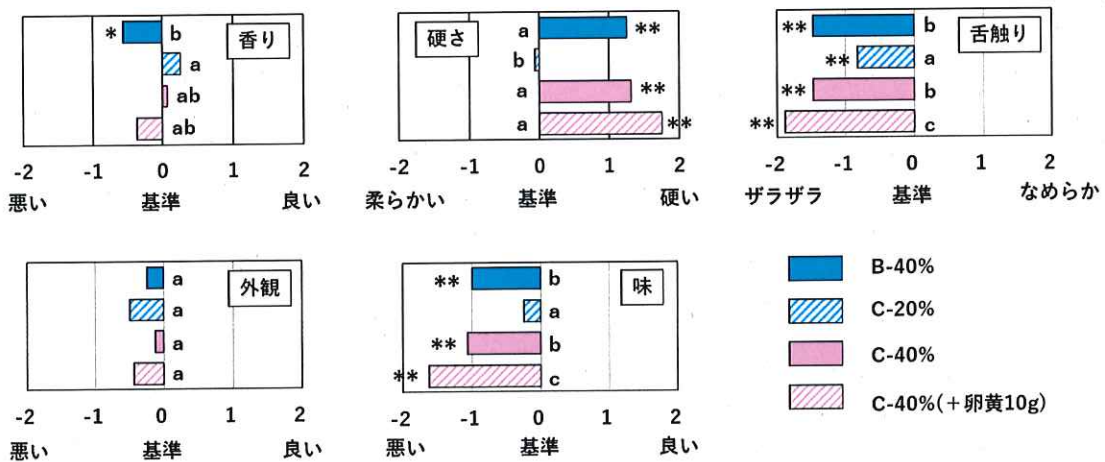


図7 食用パルプ抽出粉体入りインスタント麺の茹で上げ表面状態

(D)食味官能試験結果 表色については粉体Cを20%小麦粉と置換した麺についてのみ、有意水準1%で差が認められたが、その他の試験区ではパネル評価による有意差はなく、基準麺と変わらないとの評価であった。この点、前項(G)の色差計による評価で、粉体C置換率20%において6.4の色差を得たことから、「6.0~12.0では色の差が消費者に非常に大きいと感じられるレベル」にあるはずであるが、パネルが感じる色差が白度を見ているか、それとも色の変化として見ているかによる違いがあったものと推定する。図8に、色以外の官能評価結果を示す。硬さの評価については、食用パルプ抽出粉体Cを20%置換した茹で麺のみ基準麺との有意差



基準麺と置換麺との比較 *5%有意差有り **1%有意差あり(n=16)
置換麺間の比較 異なる文字間で有意差有り(p<0.05) (Fisherの最小有意差法)

図8 食味官能評価結果

が認められず、硬さの点では小麦粉ベースの麺と食感上は同じ程度であることがわかったほか、パネルへの聞き取りでは粉体Cを20%置換した茹麺の方が、若干柔らかいとの評価であった。香りは粉体Bを40%置換した茹麺のみ基準麺との間に有意水準5%で差が認められたが、粉体Cでは40%置換しても基準麺との差は認められず、香りの点で違和感を覚えるほどでないことが明らかとなった。また、食用パルプ抽出粉体で小麦粉を置換した麺の舌触りについては、今回の製造法における小麦粉と食用パルプ抽出粉体への水分の付与の仕方(同時水分配合)の影響もあり、ザラザラ感のある麺となったことが官能評価でも明らかになった。食用パルプ抽出粉体と基礎素材の小麦粉への水分付与割合やその順序について今後検討の必要がある。

なお今回、食用パルプ抽出粉体入り麺の香り成分の分析を試みたが、スニッフィング(匂い嗅ぎ)試験者の鼻の感度(閾値)にかかる成分には、麺の香りと考えられる成分は検知できなかった。GC-Olfactoryの試験結果はスニッフィング試験者の鼻の状態に左右されるため、今後、GC-MS等による成分分析が必要と考えている。

謝辞 本研究の実施にあたり、粉体工学情報センターには格別のご支援を賜った。ここに厚く感謝の意を表す。また、本研究の実験実務においては研究室の学生諸氏に協力を得た。付記して感謝する。